

Méthode rapide de mesure de l'indice foliaire du palmier à huile

Lamade E.

CIRAD-CP, BP 5035, 34035 Montpellier Cedex 1, France

L'indice foliaire, (*Leaf Area Index* = LAI), représente la projection d'un côté de la surface foliaire d'un couvert, ramenée à l'unité de surface au sol. C'est un paramètre très informatif de la structure du couvert d'un peuplement culturel. Il est actuellement très largement utilisé dans les modèles de simulation de production basés sur l'efficacité de conversion de l'énergie reçue par un couvert en biomasse, et sur la réponse photosynthétique de la canopée au rayonnement incident. Cet indice permet également d'évaluer les pertes d'eau d'un couvert par le flux transpiratoire, ainsi que la quantité d'eau de pluie interceptée par les feuilles le composant. Il est aussi employé en télédétection. Son évaluation précise directe est coûteuse, car elle consiste à mesurer la surface d'un échantillon de feuillage représentatif et généralisable à l'échelle d'un hectare.

Des techniques d'évaluation indirecte se sont développées à partir de la mesure de la pénétration du rayonnement dans le couvert conjointement à l'utilisation d'instruments optiques adaptés à l'appréciation de la proportion des trous dans le feuillage.

Pour le palmier à huile, nous avons choisi le LAI-2000 PCA (*Plant Canopy Analyser*) développé par Li-Cor (Li-Cor Incorporated, Lincoln, NE, USA) pour estimer l'indice foliaire à partir du modèle de Miller (1967). Celui-ci semble particulièrement indiqué dans des conditions climatiques très nuageuses du Nord-Sumatra (Indonésie) (Deblonde *et al.*, 1994). Par ce travail, nous avons voulu tester la fiabilité de cet instrument en le comparant à la méthode directe

d'évaluation du LAI, basée sur la mesure de la surface foliaire (Tailliez et Ballo Koffi, 1992) actuellement utilisée par le CIRAD-CP¹ pour le palmier à huile.

Méthode directe traditionnelle

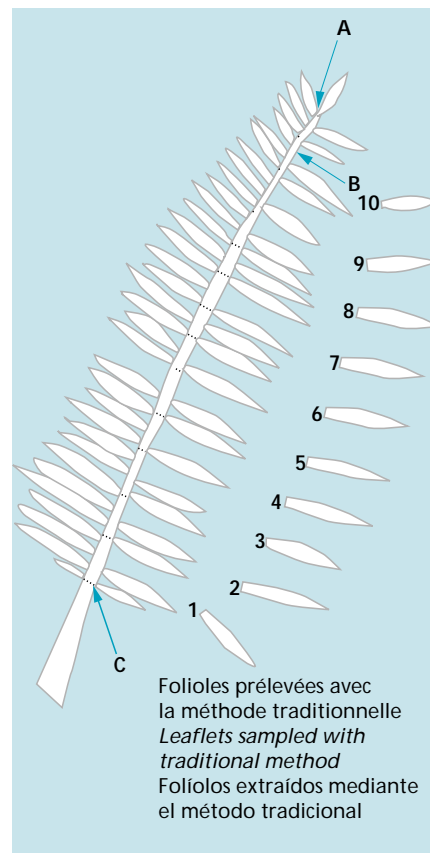


Figure 1. Identification des points A, B et C le long du rachis d'une feuille de palmier. Visualisation des 10 segments obligatoires aux prélèvements des 10 folioles. / Identification of points A, B and C along the rachis of an oil palm leaf. Also shown: the ten sections essential for sampling ten leaflets. / Identificación de los puntos A, B y C a lo largo del raquis de una hoja de palmera. Visualización de los 10 segmentos obligatorios a la toma de muestras de los 10 folíolos.



Photo 1. Méthode directe d'évaluation du LAI. Les 10 folioles prélevées par feuille sont placées sur un support gradué pour des mesures individuelles. / Direct method for evaluating LAI. The 10 leaflets sampled per leaf are placed on a graduated board for individual measurement. Método directo de evaluación del LAI. Los 10 folíolos recolectados por hoja se colocan en un soporte graduado para mediciones individuales.

Elle consiste à mesurer directement un échantillon de folioles et de palmes. Le CIRAD-CP l'utilise pour le palmier à huile depuis de nombreuses années (Tailliez et Ballo Koffi, 1992). Après avoir sélectionné la feuille à étudier (généralement la feuille de rang 17), sans la couper, on mesure la longueur totale à partir du point C (figure 1). De ce point, on divise le rachis en 10 zones équidistantes. Dans chacune, on compte le nombre de folioles et on prélève une foliole représentative du segment sur un côté de la palme. Les 10 folioles prélevées sont numérotées puis placées sur un support marqué tous les 10 cm. On relève alors, tous les 10 cm, les largeurs intermédiaires (10,... 1n) de la foliole mesurée (photo 1). Le dernier segment de longueur L_s inférieur à 10 cm est aussi mesuré précisément. Grâce à une formulation appropriée (Tailliez et Ballo Koffi, 1992), on en déduit la surface totale en m² de la feuille étudiée.

Méthode indirecte « rapide »

L'instrument

Le PCA (*Plant Canopy Analyser*) LAI-2000 de Li-Cor est composé d'un capteur optique

Le contenu de cet article a fait l'objet d'un exposé présenté au PIPOC 96 « PORIM International Palm Oil Congress: competitiveness for the 21st century », de Kuala Lumpur (Malaisie) du 23 au 28 septembre 1996. Proceedings, p. 415-420.

¹Département des cultures pérennes du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

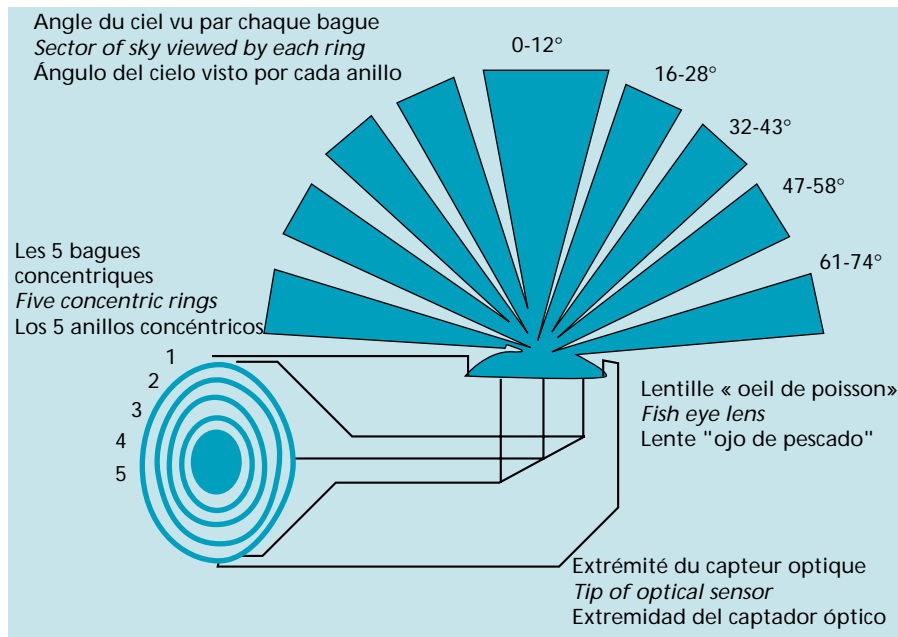


Figure 2. Coupe schématique de l'extrémité du capteur optique LAI-2050 (Li-Cor, 1992). Celui-ci projette l'image de la vue quasi hémisphérique de la lentille « œil de poisson » dans cinq détecteurs rangés en bagues concentriques. Chaque bague correspond à une portion du ciel vue par le capteur. Par exemple la bague cinq correspond à la vue comprise entre 74° et 61° au-dessus de l'horizon, la bague 4 de 47 à 58° et ainsi de suite. / *Diagram of the tip of the LAI-2050 optical sensor (Li-Cor, 1992). The sensor projects the almost hemispherical image obtained by the fish-eye lens onto five detectors arranged in concentric rings. Each ring corresponds to a portion of the sky viewed by the sensor. For instance, ring 5 corresponds to the view between 61 and 74° above the horizon, ring 4 to that between 47 and 58°, and so on.* / Corte esquemático de la extremidad del captador óptico LAI-2050 (Li-Cor, 1992). Este proyecta la imagen de la vista casi hemisférica de la lente « ojo de pescado » en cinco detectores reunidos en anillos concéntricos. Cada anillo corresponde a una porción del cielo vista por el captador. Por ejemplo el anillo cinco corresponde a la vista incluida entre 74° y 61° por encima del horizonte, el anillo cuatro de 47 a 58° y así sucesivamente.

relié à une petite centrale d'acquisition de données (photo 2). Le capteur comporte : une lentille « fish-eye » recevant le rayonnement dans un angle total de 148°, un miroir et un filtre optique transmettant la partie diffuse de celui-ci (longueur d'onde inférieure à 490 nm) sur cinq bagues (détecteurs) en silicone (figure 2). A partir des données transmises par le capteur, la centrale effectue les calculs nécessaires pour déterminer l'indice foliaire et l'angle moyen d'inclinaison du feuillage. Une bonne description de la théorie mathématique sous-jacente peut être trouvée dans Welles et Norman (1991). L'emploi de cet instrument sous-entend les hypothèses suivantes : le feuillage se comporte comme un corps noir, les éléments qui le composent sont petits, comparés à la portion vue par chaque bague, le feuillage est distribué au hasard.

Sur le capteur, une série de caches, en plastique noir opaque aux rayonnements, peut être placée (figure 3) afin d'en limiter l'angle de vision horizontale ; cela permet de masquer l'observateur ou d'empêcher le capteur de recevoir du rayonnement direct pendant la mesure.

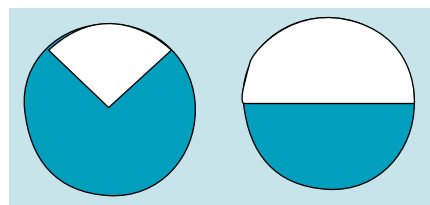


Figure 3. Il est possible de placer, sur chaque capteur optique une série de caches noirs, en plastique, opaques aux rayonnements (30°, 45°, 90° et 180°). Les deux capteurs « A » et « B » doivent porter simultanément le même cache. *A series of black plastic hoods, opaque to radiation, can be fitted to each optical sensor (30°, 45°, 90° and 180°). Both sensors, "A" and "B", should be fitted with the same hoods at the same time.* / Se puede colocar, en cada captador óptico, una serie de ocultadores negros, de plástico, opacos a las radiaciones (30°, 45°, 90° y 180°). Los dos captadores "A" y "B" deben llevar simultáneamente el mismo ocultador.

La mesure

Elle doit s'effectuer par temps nuageux uniforme, durant la journée ou très tôt le matin, ou encore le soir, de façon à ne mesurer que du rayonnement diffus. Le meilleur créneau horaire se situe, entre 12 h et 14 h (Hics et Lascano, 1995). La lumière directe provoque une sous-estimation du LAI même après corrections.



Photo 2. Le LAI-2000 (Li-Cor) est composé d'un capteur optique relié par câble à une centrale d'acquisition de données. Le niveau à bulle contrôle l'horizontalité du capteur pendant la mesure et un cache opaque réduit la « vision » du capteur à 180°. / *The LAI-2000 (Li-Cor) comprises an optical sensor connected up to a data logger. A spirit level is used to ensure that the sensor remains horizontal during measurement and an opaque hood reduces the sensor's field of vision to 180°.* / El LAI-2000 (Li-Cor) está compuesto de un captador óptico conectado por cable con una central de adquisición de datos. El nivel de burbuja controla la horizontalidad del captador durante la medición y un ocultador opaco reduce la « visión » del captador a 180°.



Photo 3. Lors du « matching », les capteurs A et B sont placés dans une zone dégagée proche de la parcelle étudiée. Le capteur A reste en place pour l'enregistrement du rayonnement diffus reçu au-dessus du couvert. / *When "matching", sensors A and B are placed in an open area near the study plot. Sensor A is left in place to measure diffuse radiation above the canopy.* Durante el "matching", los captadores A y B se colocan en una zona despejada próxima de la parcela estudiada. El captador A permanece en el sitio para el registro de la radiación difusa recibida por encima de la cubierta.

Pour les plantations ligneuses plutôt élevées, il est préférable de disposer de deux capteurs A et B reliés à deux centrales (photo 2). Le premier élément A, composé d'un capteur et de sa centrale, est placé directement au-dessus de la parcelle étudiée, sur une tour, une échelle ou dans une zone dégagée très proche de la parcelle d'étude (photo 3). Il sert à enregistrer, toutes les minutes, le rayonnement diffus reçu au-dessus du couvert. La centrale « A » est programmée en enregistrement automatique.

L'élément « B » est manipulé par l'utilisateur au-dessous du couvert étudié (photo 4). L'enregistrement de chaque valeur « B » se fait par la pression manuelle d'un bouton



E. Lamade

Photo 4. Enregistrement des mesures sous la canopée (« B » readings) effectué selon plusieurs transects relatifs à l'unité étudiée. *Recording measurements below the canopy ("B" readings), along several transects in relation to the study unit.* / Registro de las mediciones debajo de la canopea (lecturas "B") efectuado acorde a varios cortes transversales relativos a la unidad estudiada.



E. Lamade

Photo 5. Les deux centrales « A » et « B » sont connectées. Les données de « A » complètent les fichiers « B ». L'appareillage calcule, à partir du fichier global, le (ou les) LAI mesuré(s). *The two loggers, "A" and "B", are connected to one another. The "A" data are used to complete the "B" files. From the overall file, the system calculates the LAI value(s) measured.* / Las dos centrales "A" y "B" se conectan. Los datos de "A" completan los archivos «B». El equipo calcula, a partir del archivo global, el (o los) LAI medido(s).

placé sur la branche du capteur. Afin de tenir compte de l'hétérogénéité spatiale du feuillage, résultats de la phyllotaxie spécifique du palmier et de son mode de plantation en quinconce, on effectue des relevés « B » selon cinq diagonales (figure 4) entre six arbres avec huit enregistrements équidistants par transect. Afin de masquer une partie des stipes, également dans le champ du capteur, on place sur celui-ci un cache réduisant le champ horizontal à 180° ou 90° (les résultats sont équivalents pour ces deux solutions). Le capteur doit, évidemment, être tenu au-dessus des plantes de couverture. Les capteurs A et B « regardent » dans la même direction.

A la fin des mesures, les deux centrales sont reliées entre elles, et on transfère les données « B » dans la centrale contenant les enregistrements « A » (photo 5). Les deux types de données sont confrontés ; après les calculs, on obtient directement le

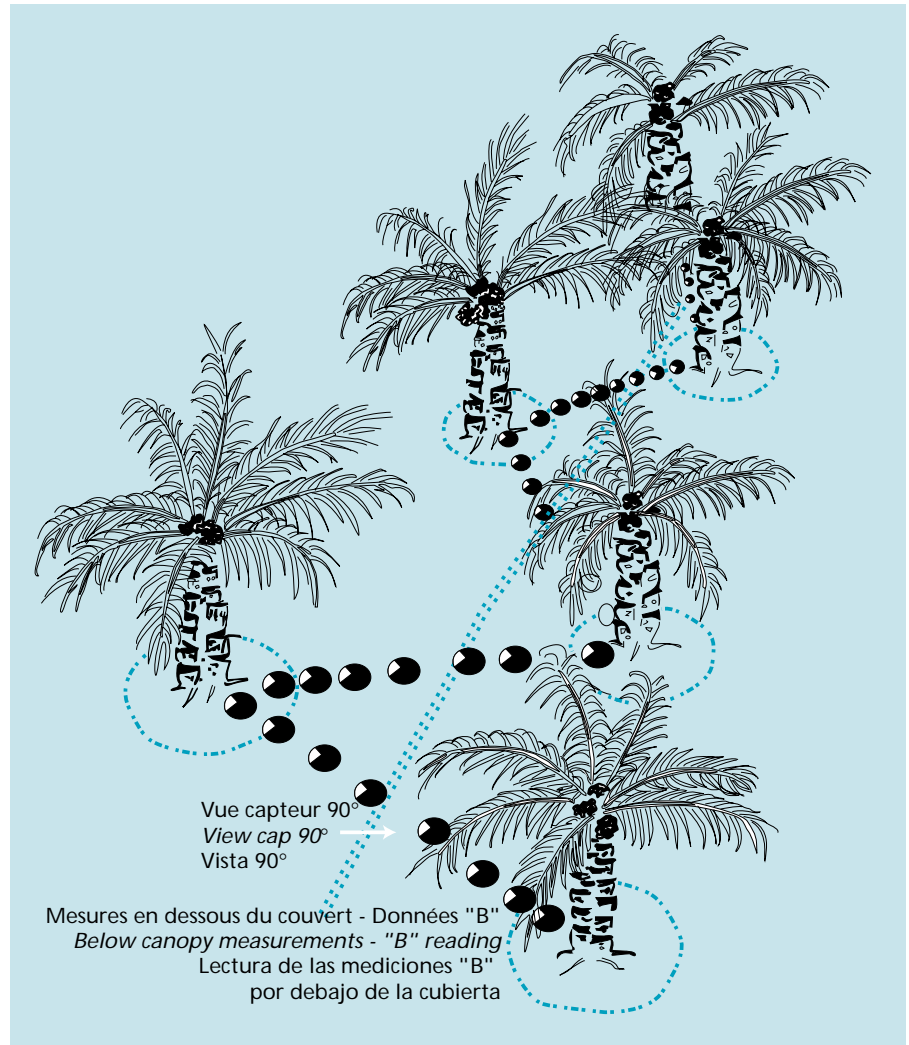


Figure 4. Protocole expérimental de mesure des données « B », en dessous du couvert. Celui-ci est spécifique des cultures en lignes, adapté à la plantation en quinconce du palmier à huile. On relève 40 données (une toutes les 2 min) : 5 petits transects avec 8 mesures chacun (Lamade et Setiyo, 1996). *Experimental protocol for "B" data measurements, i.e. below the canopy. This is specific to crops planted in rows, adapted to the staggered planting design used for oil palm. 40 readings were taken in all (one every two min.): five small transects with eight measurements each (from Lamade and Setiyo, 1996).* / Protocolo experimental de medición de los datos "B", por debajo de la cubierta. Éste es específico de los cultivos en hileras, adaptado a la plantación al tres bolillo de la palma aceitera. Se registran 40 datos (uno cada 2 min): 5 pequeños cortes transversales con 8 mediciones cada uno (Lamade y Setiyo, 1996).

LAI. Avec le logiciel C1000-90 de Li-Cor, on transfère l'ensemble du fichier sur PC par un cordon RS 232. Grâce à un deuxième logiciel Li-Cor, le C2000-90, on peut alors intervenir sur le fichier, enlever des données aberrantes et surtout réduire le champ de vision des détecteurs en silicone en masquant les bagues.

Résultats

Les résultats de la « méthode directe » sont très probablement les plus proches de la réalité et donnent des estimations fiables déjà largement utilisées, pour le palmier, en télédétection (Nguyen *et al.*, 1993), en

modélisation du bilan carboné (Dufrêne *et al.*, 1990) et du bilan hydrique (Dufrêne *et al.*, 1993). Cette méthode directe sert de référence pour tester le LAI-2000.

Une comparaison des valeurs « directes » de LAI a été effectuée avec les estimations « indirectes » données par le PCA (figure 5) en modifiant le nombre de secteurs optiques. Avec le logiciel C2000, on enlève le 5^e secteur correspondant à la bague la plus extérieure (figure 2), l'angle de vision du capteur est de 58°, une nouvelle valeur de LAI est alors recalculée ; on peut ainsi successivement éliminer les secteurs 4 et 3 réduisant l'angle de vision à 28°. Une excellente corrélation entre les deux types de

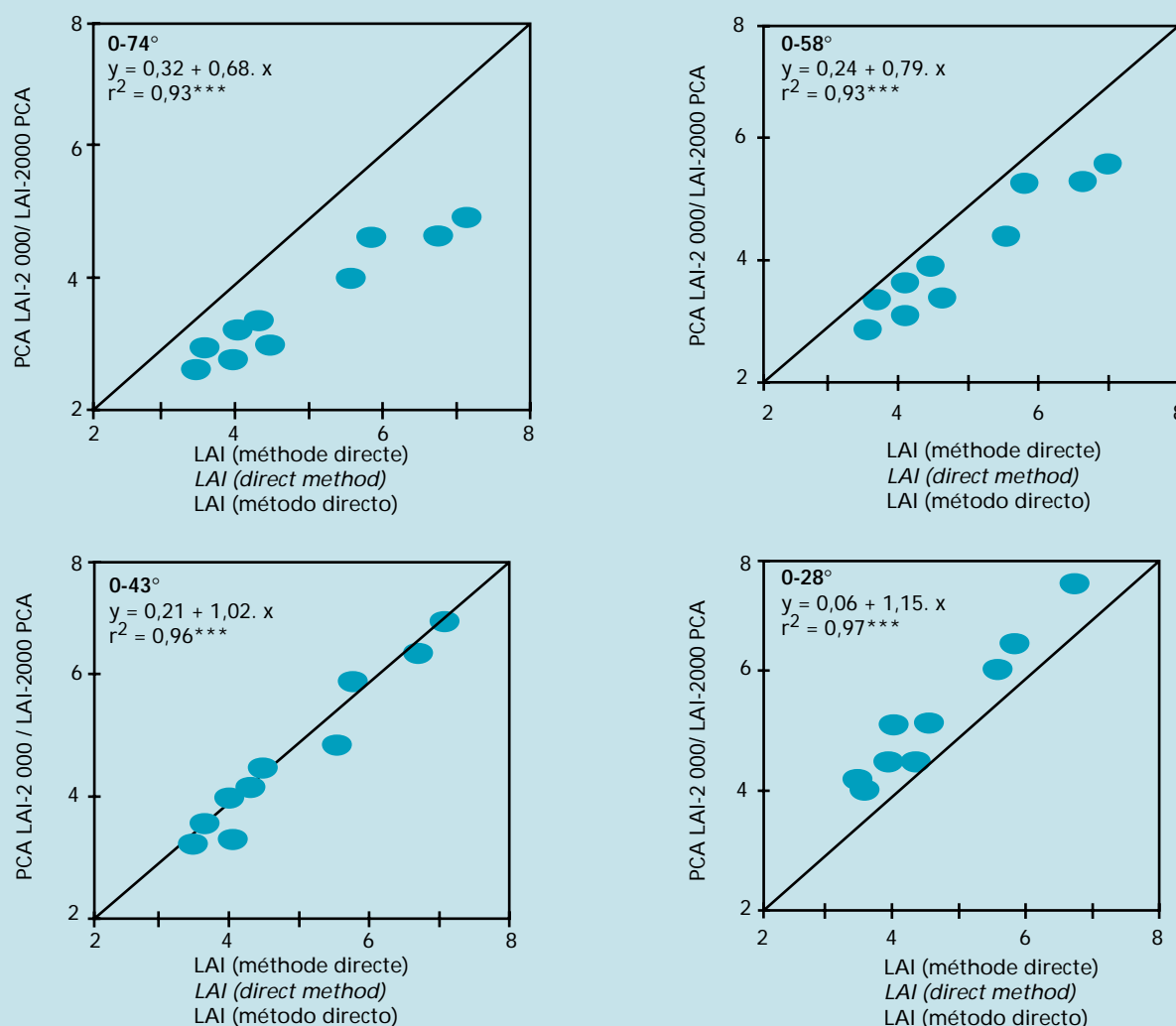


Figure 5. Relation entre l'estimation du LAI par la méthode directe et par le PCA LAI-2000. Illustration de l'effet de l'annulation des secteurs optiques sur la relation LAI (méthode directe) -PCA. On remarque qu'il y a une très bonne correspondance entre les 2 méthodes quand les bagues 4 et 5 (0-43°) sont enlevées (Lamade et Setiyo, 1996). / Relation between LAI estimation by the direct method and by the LAI-2000 PCA. Illustration of the effect of removing optical sectors on the relation between LAI (direct method) and PCA. The correlation between the 2 methods is excellent when rings 4 and 5 (0-43°) are removed (from Lamade and Setiyo, 1996). / Relación entre la estimación del LAI por el método directo y por el PCA LAI-2000. Ilustración del efecto de la anulación de los sectores ópticos sobre la relación LAI (método directo) -PCA. Se observa que existe una muy buena correspondencia entre ambos métodos cuando se quitan los anillos 4 y 5 (0-43°) (Lamade y Setiyo, 1996).

méthodes est obtenue après l'annulation des deux secteurs optiques 4 et 5, laissant un champ de vision au PCA de 43° (figure 5). Sans correction, le PCA donne une sous-estimation du LAI qui a déjà été observée par Dufrène et Breda (1995) ; Deblonde *et al.* (1994). La suppression des deux bagues externes 4 et 5, permet, comme chez ces mêmes auteurs, d'avoir une estimation pratiquement confondue aux valeurs de références.

Conclusion

Ces résultats préliminaires montrent que le PCA-LAI 2000 de Li-Cor s'avère particulièrement approprié à la mesure de l'indice fo-

liaire pour le palmier à huile. La mise au point faite, il peut remplacer la méthode traditionnelle. Cette méthode rapide présente également l'immense avantage d'être totalement non-destructive et de travailler en plantation dans diverses situations. Disposer de deux centrales (A et B) et de deux capteurs (A et B) mesurant simultanément le rayonnement diffus reçu au-dessus du couvert (élément A) et transmis au-dessous (élément B) paraît primordial pour obtenir une excellente corrélation avec la méthode directe, surtout pour des cultures comme le palmier pouvant atteindre en une dizaine d'années une hauteur élevée. Le PCA - LAI 2000 s'avère également bien adapté aux conditions tropicales humides, où la proba-

bilité journalière d'avoir un temps couvert uniforme est importante, et ceci tout au long de l'année. Des essais ont actuellement lieu sur d'autres cultures pérennes tropicales comme l'eucalyptus (île de la Réunion) et l'hévéa (Indonésie) : ils confirment ces premiers résultats. ■

Remerciements.

A l'IOPRI-Marihat (Indonésie) où des études d'écophysiologie sont conduites en partenariat avec le CIRAD-CP, programme palmier, depuis fin 1993.

Bibliographie / References / Bibliografia

- DEBLONDE G., PENNER M., ROYER A., 1994. Measuring leaf area index with the Li-Cor LAI-2000 in pine stands. *Ecol.* 75 (5) : 1507-1511.
- DUFRENE E., BRED A N., 1995. Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods. *Oecologia* 104 : 156-162.
- DUFRENE E., DUBOS B., REY H., QUENCEZ P., SAUGIER B., 1993. Changes in evapotranspiration from oil palm stand (*Elaeis guineensis* Jacq.) exposed to seasonal soil water deficits. *Oléagineux* 48 (3) : 105-120.
- DUFRENE E., OCHS R., SAUGIER B., 1990. Photosynthèse et productivité du palmier à huile en liaison avec les facteurs climatiques. *Oléagineux* 45 (8-9) : 345-355.
- HICKS S. K., LASCANO R. J., 1995. Estimation of leaf area index for cotton canopies using the Li-Cor LAI-2000 plant canopy analyzer. *Agron. J.* 87 (3) : 458-464.
- LAMADE E., SETIYO E., 1996. A rapid method for estimating leaf area index with the Li-Cor "LAI 2000 PCA" for oil palm. *In* : Porim international palm oil congress: Competitiveness for the 21st century, Kuala Lumpur, Malaisie, 23-28 septembre 1996. Kuala Lumpur, Malaisie, PORIM, p. 415-420.
- LI-COR, 1992. LAI-2000 plant canopy analyser operating manual. Lincoln, Etats-Unis, Li-Cor, 90 p.
- MILLER J.B., 1967. A formula for average foliage density. *Aust. J. Bot.* 15 : 141-144.
- NGUYEN H.V., LUKMAN F., CALIMAN J.P., FLORI A., 1993. Spot image as a visual tool to assess sanitary nutrient and general status of estate oil palm plantations. *In* : Porim international palm oil congress, Kuala Lumpur, Malaisie, 20-25 septembre 1993. Kuala Lumpur, Malaisie, PORIM, p. 548-554.
- TAILLIEZ B., BALLO KOFFI C., 1992. Une méthode de mesure de la surface foliaire du palmier à huile. *Oléagineux* 47 (8-9) : 537-545.
- WELLES J. M., NORMAN J. M., 1991. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agron. J.* 83 (5) : 818-825.

This subject was covered in a paper presented at the PORIM International Palm Oil Congress: competitiveness for the 21st century, 23rd-28th September 1996. Proceedings, p. 415-420.

(1) Tree Crops Department of the Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

A rapid method for estimating Leaf Area Index on oil palm

Lamade E

CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

The Leaf Area Index, commonly abbreviated to "LAI", represents the projection of one side of the leaf area of a canopy per unit of soil surface area. It effectively characterizes the canopy structure of a crop. It is currently very widely used in simulation models based on the efficiency of radiation conversion into biomass and on the photosynthetic response of the canopy to incident light. This index is also used to assess water loss from a plant cover through transpiration, along with the amount of rainwater intercepted by the leaves making it up. It is also used in remote sensing. Its direct evaluation is costly, since it involves measuring the area of a representative foliage sample that can be extrapolated to the scale of one hectare.

Indirect measurement techniques have been developed from the measurement of radiation penetration within the canopy combined with the use of optical instruments adapted for assessing the proportion of gaps in the foliage.

For oil palm, we used the LAI-2000 PCA (Plant Canopy Analyser) developed by Li-Cor (Li-Cor Incorporated, Lincoln, NE, USA) to estimate LAI based on Miller's model (1967), which seemed to be particularly appropriate for the very cloudy conditions in North Sumatra (Indonesia) (Deblonde *et al.*, 1994). The aim was to test the reliability of this instrument compared with a direct method of LAI evaluation based on measurement of the leaf area (Tailliez and Ballo Koffi, 1992) currently used by CIRAD-CP¹ for oil palm.

Traditional direct method

This consists in taking direct measurements on a sample of leaflets and leaves. CIRAD-CP has been using it on oil palm for many years (Tailliez and Ballo Koffi, 1992). After selecting the leaf to be studied (generally rank 17), without cutting it, the total length from point C is measured (figure 1). From this point, the rachis is divided into ten equal sections. The number of leaflets in each section is counted and a leaflet representative of the section is taken from one side of the leaf. The ten leaflets sampled are numbered and then placed on a board marked off every 10 cm. The intermediate widths (w0...wn) of the leaflet are measured every 10 cm (photo 1). The last section, whose length Ls is less than 10 cm, is also measured accurately. Using the appropriate formula (Tailliez and

Ballo Koffi, 1992), the total area in m² of the leaf studied is calculated.

"Rapid" indirect method

Apparatus

The Li-Cor LAI-2000 PCA (Plant Canopy Analyser) comprises an optical sensor connected to a small data logger (photo 2). The sensor consists of a fish-eye lens that receives all radiation within a total angle of 148°, a mirror and an optical filter that transmits the diffuse radiation (wavelength of less than 490 nm) to five silicone rings (detectors) (figure 2). From the data transmitted by the sensor, the logger makes the necessary calculations to determine the LAI and mean angle of inclination of the foliage. Welles and Norman (1991) gave a detailed description of the underlying mathematical theory. Using such a device assumes the following: the foliage behaves like a black body, its component elements are small, compared to the portion seen by each ring, the foliage is randomly distributed. A set of black plastic hoods, opaque to radiation, can be fitted to the sensor (figure 3) to reduce its horizontal angle of vision; this masks the observer or prevents the sensor receiving direct radiation during measurements.

Measurements

Measurements have to be taken in uniform cloudy weather, during the day, very early in the morning or in the evening, so as to measure only diffuse radiation. The best time is between 12 midday and 2:00 pm (Hics and Lascano, 1995). Direct light leads to underestimated LAI values, even after correction.

For rather tall woody plantations, it is best to have two sensors, A and B, connected to two loggers (photo 2). The first unit, A, comprising a sensor and a logger, is placed directly above the plot being studied, on a tower or ladder, or in a cleared zone very close to the study plot (photo 3). It is used to record diffuse radiation above the canopy at one-minute intervals. Logger A is programmed for automatic recording.

Unit B is operated under the canopy by the user (photo 4).

"B" values are recorded by pressing a button on the sensor arm. To take account of the spatial heterogeneity of the foliage caused by the specific phyllotaxy of oil palm and the staggered